

**JAPAN PATENT OFFICE**

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this office.

Date of Application: November 5, 2002

Application Number: 2002-321279 [JP2002-321279]

Applicant(s): Oki Electric Industry Co., Ltd.

Dated February 14, 2003

Commissioner,  
Japan Patent Office

Shinichiro Ohta

Certificate No. 2003-3007635

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日  
Date of Application:

2002年11月 5日

出 願 番 号  
Application Number:

特願2002-321279

[ ST.10/C ]:

[ JP 2002-321279 ]

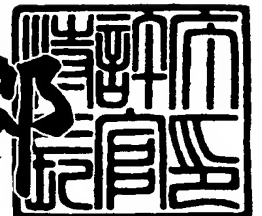
出 願 人  
Applicant(s):

沖電気工業株式会社

2003年 2月14日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3007635

【書類名】 特許願

【整理番号】 OH003765

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/32

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電気工業株式会社  
社内

【氏名】 宇佐美 哲男

【特許出願人】

【識別番号】 000000295

【氏名又は名称】 沖電気工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100085419

【弁理士】

【氏名又は名称】 大垣 孝

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 012715

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9001068

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体素子の製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 スパッタリング成膜室において A l - C u 合金配線層をスパッタリング形成するにあたり、成膜室中の窒素含有アルゴンガスの窒素含有濃度を、1 2 p p m より高くかつ 1 0 0 0 p p m より低くしてスパッタリングを行うことを特徴とする半導体素子の製造方法。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の半導体素子の製造方法において  
前記成膜室中の窒素含有アルゴンガスの窒素含有濃度を、アルゴンガスの流量と窒素添加アルゴンガスの流量とを調節することにより制御することを特徴とする半導体素子の製造方法。

【請求項 3】 請求項 1 に記載の半導体素子の製造方法において  
前記成膜室中の窒素含有アルゴンガスの窒素含有濃度を、前記 A l - C u 合金配線層の形成前にバリア層の最上層を窒素中でスパッタリングを行うことにより T i N 膜で形成し、前記 A l - C u 合金配線層をアルゴンガスを成膜ガスに用いてスパッタリングし、該スパッタリングの際の加熱により、前記 T i N 膜に含まれる過剰の窒素が成膜室中に放出されることにより制御することを特徴とする半導体素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

この発明は、半導体素子の製造方法、特に多層配線の形成方法に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

従来の半導体素子では、金属合金による配線層が広く用いられている。

【0 0 0 3】

中でも、アルミニウム合金配線（A l 合金配線）は、配線材料として低抵抗で加工性に優れているため広く用いられてきた。

【0 0 0 4】

この A 1 合金配線層を成膜する際に窒素ガスが存在すると、結晶粒径が小さくなったり、ボイドが生じやすくなったりすることが知られており、これにより膜質が低下するとされていた。このため、A 1 合金配線層をスパッタリングにより成膜する際には、窒素の混入を極力抑えて行っていた。

【0 0 0 5】

また、A 1 合金配線層が窒化されていると、絶縁性が高くなり、導通不良をおこすことが知られている（例えば、特許文献 1 参照。）。

【0 0 0 6】

【特許文献 1】

特開平 7 - 5 8 2 0 3 号公報（第 3 - 4 頁）

【0 0 0 7】

【発明が解決しようとする課題】

近年、半導体素子の高集積化に伴い、配線の微細化、薄膜化が進んでいる。その結果、配線断面積が小さくなり、電流密度が上がっている。従来の A 1 合金配線形成方法では、この電流密度の上昇に対してエレクトロマイグレーション（E M）寿命保証が厳しくなっており、信頼性低下の問題が生じている。

【0 0 0 8】

従って、E M 耐性の向上する A 1 合金配線層、特に近年多くの半導体素子に用いられている A 1 - C u 合金配線層の形成方法が望まれている。

【0 0 0 9】

【課題を解決するための手段】

そこで、この出願に係る発明者は、A 1 - C u 合金配線層を形成する際に、窒素が混入すると形成された配線の E M 寿命にどのような影響をあたえるかについて鋭意研究を行ったところ、成膜時に、微量の窒素ガスを存在させて A 1 - C u 合金配線層を形成すれば、E M 耐性の優れた配線を有する半導体素子が得られるという結論に達した。

【0 0 1 0】

この発明の半導体素子の製造方法によれば、スパッタリング成膜室において A 1 - C u 合金配線層をスパッタリング形成するにあたり、成膜室中の窒素含有ア

ルゴンガスの窒素含有濃度を、12ppmより高くかつ1000ppmより低くしてスパッタリングを行うことを特徴とする。

## 【0011】

この発明の半導体素子の製造方法によれば、従来の窒素をできるかぎり成膜室中に存在させずにAl-Cu合金配線層を形成した場合よりもEM寿命を向上させることができる。

## 【0012】

また、この発明の半導体素子の製造方法によれば、従来から用いられている配線形成方法の金属配線層をスパッタリングにより成膜する際に、成膜室中に微量の窒素を存在させてスパッタリングを行うだけで良い。よって、工程の増加や新たな装置を必要とせず、しかも形成される配線層のEM耐性を容易に向上させることができる。

## 【0013】

成膜室中の窒素含有アルゴンガスの窒素含有濃度は、好適には50ppm～500ppmの範囲に、さらに好適には、100ppm～250ppmの範囲にするのが良い。このような範囲に成膜室中の窒素含有アルゴンガスの窒素含有濃度を制御すると、EM寿命を向上させることができる。

## 【0014】

成膜室中の窒素含有アルゴンガスの窒素含有濃度は、アルゴンガスの流量と窒素添加アルゴンガスの流量とを調節することにより制御できる。

## 【0015】

この発明の半導体素子の製造方法によれば、成膜室中の窒素含有アルゴンガスの窒素含有濃度をアルゴンガスと窒素添加アルゴンガスの流量を調節することで簡単に制御できるので、工程の増加や新たな装置を必要とせず、しかも形成される配線層のEM耐性を容易に向上させることができる。

## 【0016】

また、成膜室中の窒素含有アルゴンガスの窒素含有濃度は、Al-Cu合金配線層の形成前にバリア層の最上層を窒素中でスパッタリングを行うことによりTiN膜で形成し、次いでAl-Cu合金配線層をアルゴンガスを成膜ガスに用い

てスパッタリングし、この時のスパッタリングの際の加熱により、TiN膜に含まれる過剰の窒素が成膜室中に放出することにより制御できる。

#### 【0017】

この発明の半導体素子の製造方法によれば、従来から用いられている配線形成方法において、バリア層の最上層のTiN膜をスパッタリングにより成膜するさいに、成膜ガスに窒素のみを用いてスパッタリングするだけで良い。よって、工程の増加や新たな装置を必要とせず、しかも形成される配線層のEM耐性を容易に向上させることができる。

#### 【0018】

##### 【発明の実施の形態】

以下、図面を参照してこの発明の実施の形態について説明する。なお、図中、各構成成分の寸法、形状及び配置関係は、この発明が理解できる程度に概略的に示してあるにすぎない。また、以下に述べる使用材料、膜厚、注入エネルギーその他の数値的条件は、この発明の範囲内の一例にすぎない。また、各図において、同様の構成成分については、同一の番号を付し、その重複する説明を省略することもある。また、断面を表すハッチング等については、一部省略して示している。

#### 【0019】

##### 1. 配線層の形成方法

図1を参照して、この発明の実施の形態による配線層形成方法を説明する。

#### 【0020】

図1(A) - (D)は、半導体素子の配線の製造工程図であって、各図は製造段階で得られた配線層の部分的構造を断面で示している。以下の説明においては、配線層の形成方法について着目し、配線形成の他の工程（パターニング等）については従来技術と同様であるため、説明を省略する。

#### 【0021】

この実施の形態では、金属配線層にAl-Cu合金を用いた例につき説明する。

#### 【0022】

まず、半導体下地100を用意する。従来技術と同様に、公知のCVD (Chemical Vapor Deposition) 技術により半導体下地100上に下地絶縁膜102を成膜する(図1(A))。この下地絶縁膜102は多層配線の際には、金属配線層間絶縁膜として働き、例えばP-TEOS (TEOS (tetraethoxysilane) を原料ガスとして用いたプラズマCVD法により形成するシリコン酸化膜) で形成する。この下地絶縁膜102を前処理として、350℃、1分間加熱する。この前処理は、後工程のスパッタリングのさいに、下地からの脱ガスによるAl腐食を防ぐために行い、スパッタリング時の温度よりも高い温度で処理して、下地中の水分等を除去する。

#### 【0023】

次いで、下地絶縁膜102表面上の不純物を取り除くため、下地絶縁膜102をスパッタエッチング(例えば10nm)する(図示せず)。

#### 【0024】

次に、バリア層104として、例えばTi膜104aを30nm、TiN膜104bを20nm、Ti膜104cを5nm、順次スパッタリングにより積層する(図1(B))。このスパッタリングのターゲットとしてTi(チタン)ターゲットを用いる。このバリア層104はAl-Cu合金配線層に從來から用いられており、Ti膜はAl-Cu合金配線層の配向性を良くして膜質を向上させ、及びTiN膜はAlとTiの反応性を抑える働きをする。

#### 【0025】

次に、Al-Cu合金配線層として、Al-Cu膜106をスパッタリングによりたとえば400nm成膜する(図1(C))。このときのスパッタリング成膜室の容積は、スパッタリング成膜中は一定の容積で固定されていればよい。スパッタリングの成膜温度はたとえば230℃、成膜材料はAl-Cu合金(Cu含有率: 0.5%)のターゲットを用いることができる。このスパッタリングを行う間、成膜室内の窒素含有濃度を、所定の窒素含有濃度(12ppmより高くかつ1000ppmより低い濃度)にしておく。窒素含有濃度の調節は、Arガスと窒素添加Arガスの流量により調節する。成膜室内の残留ガス分圧から算出される成膜室内の窒素含有濃度(単位: ppm)と窒素添加Arガスから算出さ



れる換算窒素流量（単位：s c c m）との相関関係が比例関係にあるかの確認については、後述する試験配線の形成方法で説明する。

#### 【0026】

この実施の形態では、窒素添加A r ガスとして、成膜室内の窒素含有濃度が200 p p m未満の場合には、0.1%窒素添加A r ガスを、また、200 p p m以上の場合は0.5%窒素添加A r ガスを用いている。後述する試験配線では、窒素含有濃度が57 p p mと120 p p mとの場合に0.1%窒素添加A r ガスを用い、窒素含有濃度が207 p p mと500 p p mとの場合に0.5%窒素添加A r ガスを用いて形成している。

#### 【0027】

A l - C u 膜106の上面に、反射防止膜（A R M : anti-reflective material）108として、T i 膜108aを5 n m、及びT i N 膜108bを50 n m 順次スパッタリングにより積層する（図1（D））。このスパッタリングのターゲットとしてT i （チタン）ターゲットを用いる。この反射防止膜108は、前述のバリア層104の働きに加えて、配線のホトリソエッチングによるパターンニング工程での露光の反射を防止するものである。

#### 【0028】

このようにして、バリア層104、A l - C u 膜106及び反射防止膜108を含む配線層110が形成される。この配線層110を公知のホトリソエッチング技術により所望の配線パターンにパターンニングして配線が形成できる。

#### 【0029】

この実施の形態の形成方法に従って形成された半導体素子のA l - C u 合金配線層のE M 寿命は、後述する実験結果からも明らかなように、窒素をできるかぎり成膜室中に存在させないようにした従来の形成方法に従って形成されたA l - C u 合金配線層の場合よりも向上している。

#### 【0030】

また、この配線層の形成方法は、従来から用いられている配線形成方法の金属配線層をスパッタリングにより成膜する際に、成膜室中に微量の窒素を存在させてスパッタリングを行うだけで良い。よって、この発明の形成方法によれば、工

程の増加や新たな装置を必要とせず、しかも形成される配線層のEM耐性を容易に向上させることができる。

#### 【0031】

成膜室中の窒素含有濃度を制御する方法として、以下のような手順も考えられる。バリア層を複数のTi膜とTiN膜とで積層する構成とし、かつバリア層の最上層をTiN膜とする。バリア層の最上層のTiN膜をスパッタリングするさいに、成膜ガスとして窒素のみを用いて成膜する。このように窒素のみを成膜ガスに用いて、TiN膜のスパッタリングを行うと、過剰の窒素がTiN膜中にとりこまれる。次に、バリア層の最上層のTiN膜上にAl-Cu膜をArガスを成膜ガスに用いてスパッタリングにより成膜する。この際の加熱により、TiN膜中に存在していた過剰の窒素が、成膜室中に放出される。これにより、Al-Cu膜のスパッタリングの際に、窒素添加Arガスを用いずに成膜室中に窒素を含有させることができる。バリア層の最上層のTiN膜の膜厚と、Al-Cu膜のスパッタリングの際の成膜温度とにより、窒素含有濃度の制御を行う。好ましくは、この成膜温度は、200℃～400℃の範囲内とするのが良い。

#### 【0032】

この配線層の形成方法によれば、従来の窒素をできるかぎり成膜室中に存在させずにAl-Cu合金配線層を形成した場合よりもEM寿命を向上させることができる。

#### 【0033】

また、この配線層の形成方法は、従来から用いられている配線形成方法において、バリア層の最上層のTiN膜をスパッタリングにより成膜するさいに、成膜ガスに窒素のみを用いてスパッタリングするだけで良い。よって、工程の増加や新たな装置を必要とせず、容易にEM耐性を向上させることができる。

#### 【0034】

### 2. EM耐性試験

#### (2-1) 試験配線の形成

上述の金属配線層形成方法を用いて試験配線を形成し、これについて累積故障率の測定試験、すなわちEM耐性試験を行う。

## 【 0 0 3 5 】

図 2 に試験配線の構造概略図を示す。試験配線は、一定区間毎に上又は下にシフトされた二層レベルの配線になっており、第 1 配線層 (M 1 層と称する) と第 2 配線層 (M 2 層と称する) は、スルーホール (TH : Through Hole) に設けられた導電層 (TH 層と称する) で接続されている。

## 【 0 0 3 6 】

図 2 (A) は、試験配線 2 0 0 を上面から見た図であり、配線パターンがわかるように配線層部分のみを示し、酸化膜等を省略している。このような配線パターンを持った試験配線 2 0 0 を、電極パッド 2 0 4 a 及び 2 0 4 b に接続して通電することにより、EM 耐性試験を行う。スルーホール (TH) 形成領域 2 0 2 は、同一のハッチングが示されている部分すべてが TH 形成領域 2 0 2 を表している。M 1 層 2 0 8 及び M 2 層 2 1 0 についても同様である。この構成例では、図の紙面に垂直な方向に上下方向をとって示しており、M 1 層 2 0 8 は下側位置のレベルにあり、また、M 2 層 2 1 0 は上側位置のレベルにある。

## 【 0 0 3 7 】

図 2 (B) は、図 2 (A) 中に示した領域 2 0 6 の拡大図である。隣接する順次の第 1 配線層 (M 1 層) 2 0 8 は、TH 層 2 2 1 を介してこれら M 1 層 2 0 8 の中間にある第 2 配線層 (M 2 層) 2 1 0 と接続されている。すなわち、試験配線 2 0 0 は、M 1 層 → TH 層 → M 2 層 → TH 層 → M 1 層という接続の繰り返しで構成されている。

## 【 0 0 3 8 】

この試験配線 2 0 0 は、配線幅  $W : 2.0 \mu m$ 、配線長  $L : 5000 \mu m$  及びスルーホール (TH) 設置箇所すなわち TH 層 2 2 1 の設置箇所 : 50 箇所 (設置間隔  $S : 100 \mu m$ ) の配線パターンで形成されている。ここで、設置間隔  $S$  は TH の中心間の距離である。また、TH 層 2 2 1 は、一つのスルーホール形成領域 2 0 2 中に、4 個設けられており、それぞれの TH 層 2 2 1 が配線幅方向に等間隔で、直線的に設けられている。2 つの TH 層間の距離は  $0.26 \mu m$  である。さらに、上面から見た TH 層 2 2 1 の形状は、 $0.26 \mu m \times 0.26 \mu m$  の正方形である。

## 【 0 0 3 9 】

試験配線は、窒素添加 A r ガスを成膜室中に導入するガスポンベの切り換えのため、第 1 回配線試験 (R U N 1) と第 2 回配線試験 (R U N 2) にわけて形成している。成膜室中の窒素含有濃度が、R U N 1 は 2 0 0 p p m 未満の場合であり、かつ 0. 1 % 窒素添加 A r ポンベを用いている。同様に、R U N 2 は 2 0 0 p p m 以上の場合であり、かつ 0. 5 % 窒素添加 A r ポンベを用いている。

## 【 0 0 4 0 】

図 3 は、図 2 (B) 中の I - I で切断した断面図である。図 3 (A) は、R U N 1 の試験配線の断面図、図 3 (B) は、R U N 2 の試験配線の断面図である。

## 【 0 0 4 1 】

図 3 (A) を用いて、R U N 1 の試験配線の構造を説明する。試験配線は、下地酸化膜 2 1 2 上にパターンニングされた M 1 層 2 0 8 a が形成され、T H 層 2 2 1 によって上層のパターンニングされた M 2 層 2 1 0 a と接続されている。M 1 層 2 0 8 a は、下層から順にバリア層 2 1 4、A l - C u 膜 2 1 6 及び反射防止膜 2 1 8 が積層されている。バリア層 2 1 4 は、下層から順に T i 膜 2 1 4 a、T i N 膜 2 1 4 b 及び T i 膜 2 1 4 c が積層されている。反射防止膜 2 1 8 は、下層から順に T i 膜 2 1 8 a 及び T i N 膜 2 1 8 b が積層されている。T H 層 2 2 1 は、バリアメタル 2 2 0 がタングステンプラグ (以下 W プラグと称する。) 2 2 2 a の下面及び側面を覆っている。M 2 層 2 1 0 a は、下層から順にバリア層 2 2 4、A l - C u 膜 2 2 6、反射防止膜 2 2 8 が積層されている。バリア層 2 2 4 は、下層から順に T i 膜 2 2 4 a、T i N 膜 2 2 4 b 及び T i 膜 2 2 4 c が積層されている。反射防止膜 2 2 8 は、ホトリソエッチングの際の反射防止のみを目的としているので、T i N 膜による単層としている。M 1 層 2 0 8 a の上面と側面及びバリアメタル 2 2 0 の側面は、酸化膜 2 3 0 a 及び 2 3 0 b でそれぞれ覆われている。酸化膜 2 3 0 a 及び 2 3 0 b はひとつのつながった酸化膜であるが、膜厚の薄い部分、すなわち M 1 層 2 0 8 a 上面に接している部分を 2 3 0 a とし、及び膜厚の厚い部分すなわち、下地酸化膜 2 1 2 上面に接している部分を 2 3 0 b としている。酸化膜 2 3 0 a 及び 2 3 0 b と、M 2 層 2 1 0 a とを覆うように、酸化膜 2 3 2 が積層され、さらに酸化膜 2 3 2 の上面全体に窒化膜 2

3 4 が積層されている。

【 0 0 4 2 】

R U N 2 で用いた試験配線は、R U N 1 と同様の構造をしているが、上層の酸化膜 2 3 2 は設けられておらず、従って、窒化膜 2 3 6 で酸化膜 2 3 0 a 及び 2 3 0 b と、M 2 層 2 1 0 a とを覆っている（図 3（B））。

【 0 0 4 3 】

試験配線形成の工程について、図 4 及び図 5 を用いて概略を説明する。図 4 及び図 5 は、それぞれ、図 2（B）中の I I - I I で切断した断面部分に相当する。M 1 層及び M 2 層の成膜条件については、後述する。A l - C u 膜をスパッタリングする成膜室中の窒素含有濃度は、A r ガスと窒素添加 A r ガスのそれぞれの流量を調節することで制御している。

【 0 0 4 4 】

まず、前述の配線層の形成方法と同様の条件で、下地酸化膜 2 1 2 上に M 1 層 2 0 7 を形成する（図 4（A））。下地酸化膜 2 1 2 には、P - T E O S を用いている。

【 0 0 4 5 】

この M 1 層 2 0 7 を公知のホトリソエッチング技術により、上面から見たパターンが図 2（A）に示したパターンの M 1 層 2 0 8 部分になるようにパターンニングする（図 4（B））。このパターンニングで残存した、互いに隣接する M 1 層パターンを 2 0 8 a 及び 2 0 8 b で示す。このパターン間の間隙を 2 0 8 c で示す。ただし、図 2（A）の T H 形成領域 2 0 2 の下部にも、M 1 層 2 0 8 は存在している。次いで、酸化膜 2 3 0 を形成し、その後、公知の平坦化技術（CMP：Chemical Mechanical Polishing）により平坦化する（図 4（C）及び図 4（D））。

【 0 0 4 6 】

公知のホトリソエッチング技術により、T H 形成予定領域を M 1 層 2 0 8 a 及び 2 0 8 b のそれぞれの表面に達する開口 2 3 1 として、それぞれ、形成する（図 4（E））。開口 2 3 1 の中心間の距離は、前述した T H 層 2 2 1 の設置間隔 S である。この構成例では、これらの開口 2 3 1 は、両 M 1 層 2 0 8 a 及び 2 0

8 b の対向端側に設けている。バリアメタル 2 2 0 を、T i ターゲットを用いた窒素との反応性スパッタリングにより T i N 膜で形成する（図示せず）。次いで、C V D 技術によりタングステン（W）膜 2 2 2 を 7 0 0 n m 成膜する（図 5（A））。W 膜 2 2 2 は、それぞれの開口 2 3 1 を埋め込んでいる。

## 【 0 0 4 7 】

CMP により酸化膜 2 3 0 a 及び 2 3 0 b の表面まで W 膜 2 2 2 の平坦化を行って、W プラグ 2 2 2 a 及び 2 2 2 b を形成する（図 5（B））。これら W プラグ 2 2 2 a 及び 2 2 2 b は、開口 2 3 1 中に残存しているタングステン膜の部分で形成されている。さらに、M 1 層 2 0 7 と同様の工程で M 2 層 2 0 9 を積層して形成する（図 5（C））。公知のホトリソエッチング技術により、上面から見たパターンが図 2（A）に示した M 2 層 2 1 0 部分になるようにパターニングする。このパターニングで残存した M 2 層パターンを 2 1 0 a で示す（図 5（D））。この場合も、図 2（A）の T H 形成領域 2 0 2 の上部に M 2 層 2 1 0 は存在している。

## 【 0 0 4 8 】

その後、R U N 1 では、酸化膜 2 3 2 を C V D（化学気相成長）法により 8 0 0 n m の膜厚で積層する。次いで、水素ガス中、4 0 0℃で 3 0 分間シンターした後、窒化膜 2 3 4 をプラズマ C V D 法により 4 0 0 n m の膜厚で積層して試験配線が形成される。R U N 2 では窒化膜 2 3 6 をプラズマ C V D 法により 4 0 0 n m の膜厚で積層し、水素ガス中、4 0 0℃で 3 0 分間シンターして、試験配線が形成される。

## 【 0 0 4 9 】

下地酸化膜の表面のスパッタエッチング及び各層のスパッタリングの条件を以下に示す。表 1 は M 1 層の成膜条件を示し、及び、表 2 は M 2 層の成膜条件を示している。

## 【 0 0 5 0 】

【表 1】

| M1層       | 膜厚(nm) | ガス流量(sccm) |          | スパッタ電力(kW) | 成膜温度(°C) |
|-----------|--------|------------|----------|------------|----------|
|           |        | Ar         | 加熱Arガス窒素 |            |          |
| スパッタエッチング | 10     | 40         | 0        | 0.5        | R.T.     |
| Ti膜214a   | 30     | 22         | 10       | 2          | 300      |
| TiN膜214b  | 20     | 10         | 4        | 3.5        | 300      |
| Ti膜214c   | 5      | 32         | 0        | 1          | 300      |
| Al-Cu膜216 | 400    | ※1         | ※1       | 15         | 225      |
| Ti膜218a   | 5      | 22         | 10       | 1          | 300      |
| TiN膜218b  | 50     | 0          | 0        | 8          | 300      |

【0051】

【表 2】

| M2層       | 膜厚(nm) | ガス流量(sccm) |        |    | スパッタ電力(kW) | 成膜温度(°C) |
|-----------|--------|------------|--------|----|------------|----------|
|           |        | Ar         | 加熱Arガス | 窒素 |            |          |
| スパッタエッチング | 10     | 40         | 0      | 0  | 0.5        | R.T.     |
| Ti膜224a   | 30     | 22         | 10     | 0  | 2          | 300      |
| TiN膜224b  | 20     | 10         | 4      | 21 | 3.5        | 300      |
| Ti膜224c   | 5      | 32         | 0      | 0  | 1          | 300      |
| Al-Cu膜226 | 400    | ※1         | ※1     | 0  | 15         | 225      |
| TiN膜228   | 50     | 0          | 0      | 32 | 8          | 300      |

【0052】

成膜条件として、膜厚 (nm)、ガス流量 (sccm)、スパッタ電力 (kW) 及び成膜温度 (°C) を示している。ガス流量は成膜室中に流すガスの流量を表



しており、A r はアルゴンガス及び窒素は窒素ガスである。加熱A r ガスは、成膜温度を上昇させるために用いるアルゴンガスのことである。

## 【0053】

表1、表2中の※1で示したA r 及び加熱A r ガスの流量は、成膜室中の窒素含有濃度によって異なるので、詳細を表3及び表4にそれぞれ示している。

## 【0054】

ここで、各試験配線のA l - C u 膜形成の際のスパッタリングにおける成膜条件を表3及び表4にそれぞれ示す。ここでの成膜材料はA l - C u (C u 含有率：0.5%)のターゲットを用いている。

## 【0055】

【表3】

| RUN1           |    | S1      | LV1     | LV2     |
|----------------|----|---------|---------|---------|
| 窒素添加Ar流量(sccm) |    | 0       | 2.5     | 7       |
| 換算窒素流量(sccm)   |    | 0       | 0.0005  | 0.0014  |
| Ar流量(sccm)     |    | 66      | 64      | 59      |
| 加熱Ar流量(sccm)   |    | 15      | 15      | 15      |
| 残留ガス<br>分圧(Pa) | 水  | 1.1E-04 | 1.1E-04 | 1.1E-04 |
|                | 窒素 | 3.6E-06 | 1.7E-05 | 3.6E-05 |
|                | 酸素 | 1.4E-06 | 1.2E-06 | 1.2E-06 |
|                | Ar | 3.0E-01 | 3.0E-01 | 3.0E-01 |
| 窒素含有濃度(ppm)    |    | 12      | 57      | 120     |

## 【0056】

【表 4】

| RUN2           | S2      | LV3     | LV4     | LV5     | LV6     | LV7     |
|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 窒素添加Ar流量(sccm) | 0       | 2.5     | 6.4     | 12.7    | 25      | 51.5    |
| 換算窒素流量(sccm)   | 0       | 0.0125  | 0.032   | 0.0635  | 0.125   | 0.2575  |
| Ar流量(sccm)     | 66      | 64      | 59      | 50      | 34      | 5       |
| 加熱Ar流量(sccm)   | 15      | 15      | 15      | 15      | 15      | 15      |
| 残留ガス           | 1.3E-04 | 1.4E-04 | 1.4E-04 | 1.2E-04 | 1.4E-04 | 1.2E-04 |
| 分圧(Pa)         | 2.9E-06 | 6.2E-05 | 1.5E-04 | 3.1E-04 | 6.2E-04 | 1.2E-03 |
|                | 9.6E-07 | 9.4E-07 | 1.2E-06 | 8.4E-07 | 8.1E-07 | 8.5E-07 |
| Ar             | 3.0E-01 | 3.0E-01 | 3.0E-01 | 3.0E-01 | 3.0E-01 | 3.0E-01 |
| 窒素含有濃度(ppm)    | 10      | 207     | 500     | 1033    | 2067    | 4000    |

【0057】

第1回配線試験(RUN1)の条件、すなわち、200ppm未満の窒素含有

濃度の条件を表3に示し、及び第2回配線試験(RUN2)の条件、すなわち、200ppm以上の条件を表4に示している。それぞれについて、成膜室中のガス流量(sccm)、残留ガス分圧(Pa)及び窒素含有濃度(ppm)を示している。残留ガス分圧は、水(H<sub>2</sub>O)、窒素(N<sub>2</sub>)、酸素(O<sub>2</sub>)及びアルゴン(Ar)について測定している。この窒素残留ガス分圧(窒素分圧ともいう)とAr残留ガス分圧(Ar分圧)とによって、窒素含有濃度を算出している。

## 【0058】

窒素含有濃度(ppm) = (窒素分圧(Pa) / Ar分圧(Pa)) × 10<sup>5</sup>

この分圧から算出した窒素含有濃度と換算窒素流量の関係が、比例関係を保っているかを確認するために、図6及び図7に相関関係のグラフをそれぞれ示している。

## 【0059】

横軸は換算窒素流量(sccm)及び縦軸は窒素含有濃度(ppm)を表す。図6にRUN1の結果を示し及び図7にRUN2の結果を示している。両グラフともほぼ右上がりの直線を示す。これらの測定結果から、換算窒素流量と窒素含有濃度が比例関係を保っていることがわかる。よって、換算窒素流量を変化させることで、窒素含有濃度を制御できることが確かめられた。

## 【0060】

表3及び表4に示したように、スパッタリングに混入する窒素の濃度を10ppm～4000ppmの範囲内の値に設定して試験配線を形成した。RUN1では、窒素含有濃度によって、S1(12ppm)、LV1(57ppm)及びLV2(120ppm)の3つの条件で試験配線を形成している。同様に、RUN2では、窒素含有濃度によって、S2(10ppm)、LV3(207ppm)、LV4(500ppm)、LV5(1033ppm)、LV6(2067ppm)及びLV7(4000ppm)の6つの条件で試験配線を形成している。このとき、RUN1のS1(窒素含有濃度12ppm)とRUN2のS2(窒素含有濃度10ppm)は、窒素添加Arガスを用いずに窒素を含有させないようにスパッタリングを行ったものであるが、通常この程度(12ppm以下)の濃度の窒素はスパッタリング時に存在してしまう。よって、S1をLV1及びLV2

に対する窒素を混入させなかった場合の基準として、S 2 を L V 3 ~ L V 7 に対する窒素を混入させなかった場合の基準として用いて L V 1 ~ L V 7 の試験配線の EM 耐性が向上したかどうかを判断している。

#### 【 0 0 6 1 】

##### ( 2 - 2 ) EM 耐性の測定

これらの S 1、S 2 及び L V 1 ~ L V 7 の試験配線に対して、累積故障率の測定試験を行った。

#### 【 0 0 6 2 】

この試験は、初期抵抗に対して 1 0 % の抵抗増加をした試験配線を故障（すなわち EM 寿命）として、累積故障率（Cumulative Failure）を調べるものである。試験条件は、試験温度 2 0 0 °C 及び電流密度  $1.0 \text{ E } 6 \text{ A } / \text{ c m }^2$  の条件で行った。

#### 【 0 0 6 3 】

図 8 に R U N 1 の累積故障率の試験結果を示し及び図 9 に R U N 2 の累積故障率の試験結果を示す。横軸は試験時間（単位：h r）及び縦軸は累積故障率（単位：%）を表している。

#### 【 0 0 6 4 】

S 1 の試験配線の累積故障率は、約 1 3 9 時間で 1 0 % 程度、約 1 4 6 時間で 5 0 %、約 1 5 8 時間で 9 0 % に達する。L V 1 の試験配線の累積故障率は、約 1 6 3 時間で 1 0 % 程度、約 1 7 7 時間で 5 0 %、約 1 8 1 時間で 9 0 % に達する。L V 2 の試験配線の累積故障率は、約 2 0 1 時間で 1 0 % 程度、約 2 0 4 時間で 5 0 %、約 2 1 9 時間で 9 0 % に達する（図 8）。

#### 【 0 0 6 5 】

S 2 の試験配線の累積故障率は、約 1 0.4 時間で 5 % 程度、約 1 1.4 時間で 5 0 %、約 1 1.7 時間で 9 5 % に達する。L V 3 の試験配線の累積故障率は、約 1 5.0 時間で 5 % 程度、約 1 6.0 時間で 5 0 %、約 1 8 時間で 9 5 % に達する。L V 4 の試験配線の累積故障率は、約 1 3.6 時間で 5 % 程度、約 1 4.2 時間で 5 0 %、約 1 5.5 時間で 9 5 % に達する。L V 5 の試験配線の累積故障率は、約 1 0.8 時間で 5 % 程度、約 1 1.5 時間で 5 0 %、約 1 2.7 時

間で95%に達する。LV6の試験配線の累積故障率は、約7.2時間で5%程度、約9.1時間で50%、約9.3時間で95%に達する。LV7の試験配線の累積故障率は、約3.5時間で5%程度、約4.2時間で50%、約4.5時間で95%に達する(図9)。

## 【0066】

RUN1ではLV1及びLV2とともにS1よりも故障するまでの時間が長くなっており、この事実からEM寿命が長くなっていることがわかる。RUN2では、LV3及びLV4について、基準となるS2より明らかに故障するまでの時間が長くなっており、この事実からEM寿命が長くなっていることがわかる。

## 【0067】

基準となるS1及びS2に対してEM寿命が長くなっていることを分かりやすく示すために、MTF増加率と窒素含有濃度の相関関係を考える。

## 【0068】

MTF (mean time to failure) は、試験した母体数の累積故障率が50%に達する時間(単位: hr)であり、図8、図9の結果から求めることができる。

## 【0069】

RUN1では、S1を基準にしてMTFの値の増加率(MTF増加率)をLV1、LV2について算出した。RUN2でも同様に、S2を基準にしてLV3～LV7のMTF増加率を算出した。

## 【0070】

表5に各窒素含有濃度でのMTFの値及びMTF増加率を示す。MTF増加率が正の値をとっていれば、MTFが大きくなっており、また、負の値をとっていれば、MTFが小さくなっていることがわかる。

## 【0071】

【表 5】

|     | 窒素含有濃度<br>(ppm) | MTF<br>(hr) | MTF増加率<br>(%) |
|-----|-----------------|-------------|---------------|
| S2  | 10              | 11.38       | 0             |
| S1  | 12              | 146.0       | 0             |
| LV1 | 57              | 177.6       | 21.64         |
| LV2 | 120             | 204.5       | 40.07         |
| LV3 | 207             | 15.96       | 40.25         |
| LV4 | 500             | 14.21       | 24.87         |
| LV5 | 1033            | 11.46       | 0.70          |
| LV6 | 2067            | 9.13        | -19.77        |
| LV7 | 4000            | 4.17        | -63.36        |

## 【0 0 7 2】

この窒素含有濃度とMTF増加率の相関関係を図10に示す。グラフの横軸は成膜室中の窒素含有濃度（単位：ppm）を示し及び縦軸はMTF増加率（単位：％）を示している。

## 【0 0 7 3】

図10のMTFと成膜室中の窒素含有濃度との関係は、従来から言われているように、1000ppmを越える窒素含有濃度では、MTF増加率が負の値となり、この事実から、従来の成膜室中に窒素を含まないようにスパッタリングした場合よりMTFが小さい値をとっていることがわかる。しかしながら、窒素含有濃度が12ppmを越えて1000ppmを越えない範囲では、MTF増加率が正の値となり、この事実から、従来の成膜室中に窒素を含まないようにスパッタリングした場合よりMTFが大きい値をとっていることがわかる。

## 【0 0 7 4】

成膜室中の窒素含有アルゴンガスの窒素含有濃度が50ppm～500ppmの範囲では、20％以上のMTF増加率を示しているので、この範囲は好適な濃度範囲であることがわかる。また、成膜室中の窒素含有アルゴンガスの窒素含有濃度が100ppm～250ppmの範囲では、40％前後のMTF増加率を示しているので、この範囲は、より好適な範囲であることがわかる。

## 【0 0 7 5】

よって、成膜室中の窒素含有濃度を 1 2 p p m より高くかつ 1 0 0 0 p p m より低くしてスパッタリングを行うことにより A l - C u 膜を形成した配線は、従来方法にしたがって、すなわち、成膜室中にできるかぎり窒素を含まないようにしてスパッタリングを行うことにより A l - C u 膜を形成した従来の配線よりも M T F の値が大きくなり、しかも E M 寿命が長くなる、すなわち、E M 耐性が向上することがわかる。

【 0 0 7 6 】

【発明の効果】

上述した実施の形態からも明らかなように、この発明の配線形成方法を用いた半導体素子の製造方法によれば、E M 耐性の優れた配線を形成できる。

【 0 0 7 7 】

また、従来の工程をそのまま用い、A l - C u 合金配線層を形成する際に、成膜ガスに対して窒素を混入させるだけでよいので、工程の増加や新たな装置を用いる必要がない。すなわち、このような手順で容易に E M 耐性を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

(A) ～ (D) は、この発明による配線層形成の工程図である。

【図 2】

試験配線の構造概略図である。

【図 3】

試験配線の一部の断面図である。

【図 4】

(A) ～ (E) は、試験配線形成の工程概略図である。

【図 5】

(A) ～ (D) は、試験配線形成の工程概略図である。

【図 6】

R U N 1 の窒素含有濃度と換算窒素流量の相関関係を表すグラフである。

【図 7】

RUN 2 の窒素含有濃度と換算窒素流量の相関関係を表すグラフである。

【図 8】

RUN 1 の累積故障率の結果を表すグラフである。

【図 9】

RUN 2 の累積故障率の結果を表すグラフである。

【図 10】

窒素含有濃度とMTF増加率の相関関係を表すグラフである。

【符号の説明】

- 1 0 0 : 半導体下地
- 1 0 2 : 下地絶縁膜
- 1 0 4、2 1 4、2 2 4 : バリア層
- 1 0 4 a、1 0 4 c、1 0 8 a、2 1 4 a、2 1 4 c、2 1 8 a、2 2 4 a、  
2 2 4 c : Ti 膜
- 1 0 4 b、1 0 8 b、2 1 4 b、2 1 8 b、2 2 4 b : TiN 膜
- 1 0 6、2 1 6、2 2 6 : Al-Cu 膜
- 1 0 8、2 1 8、2 2 8 : 反射防止膜 (ARM)
- 1 1 0 : 配線層
- 2 0 0 : 試験配線
- 2 0 2 : TH 形成領域
- 2 0 4 a、2 0 4 b : 電極パッド
- 2 0 6 : 領域
- 2 0 7、2 0 8、2 0 8 a、2 0 8 b : M1 層
- 2 0 8 c : 間隙
- 2 0 9、2 1 0、2 1 0 a : M2 層
- 2 1 2 : 下地酸化膜
- 2 2 0 : バリアメタル
- 2 2 1 : TH 層
- 2 2 2 : W 膜
- 2 2 2 a、2 2 2 b : W プラグ



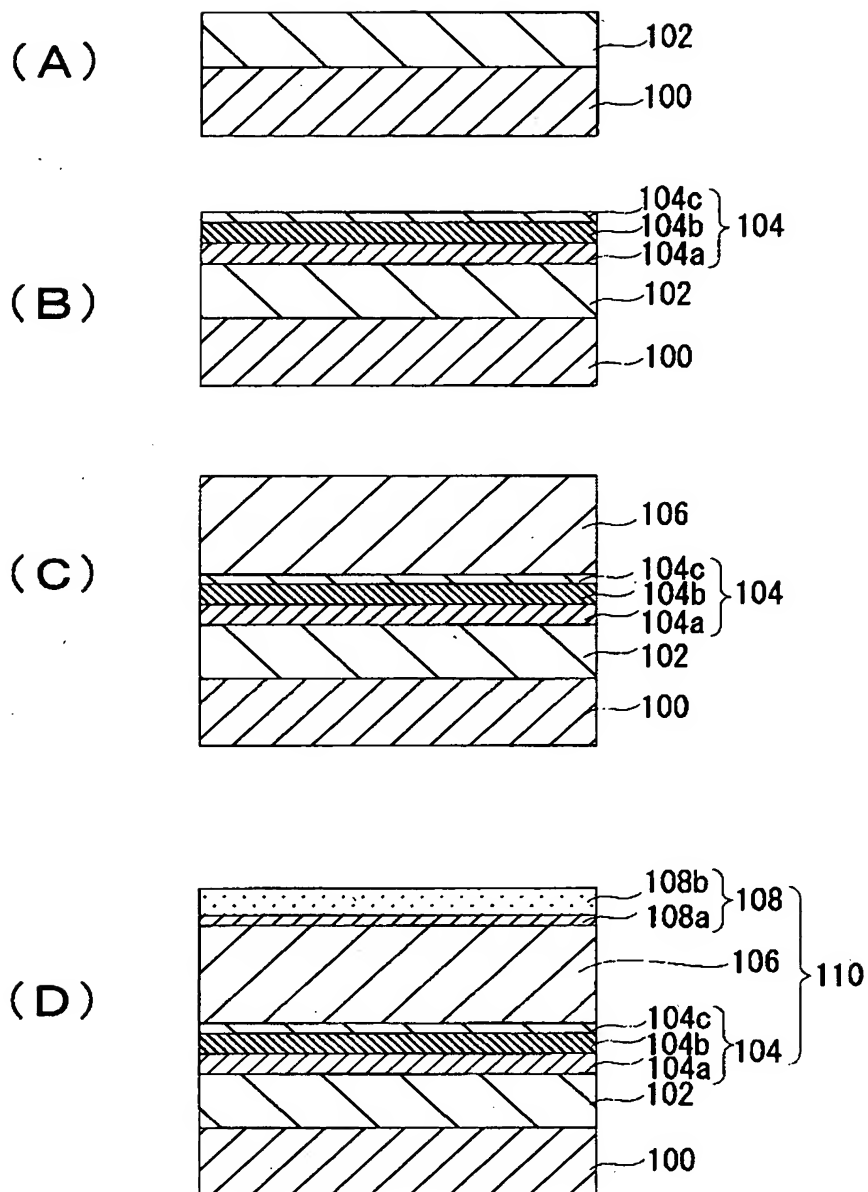
2 3 0、2 3 0 a、2 3 0 b、2 3 2 : 酸化膜

2 3 1 : 開口

2 3 4、2 3 6 : 窒化膜

【書類名】 図面

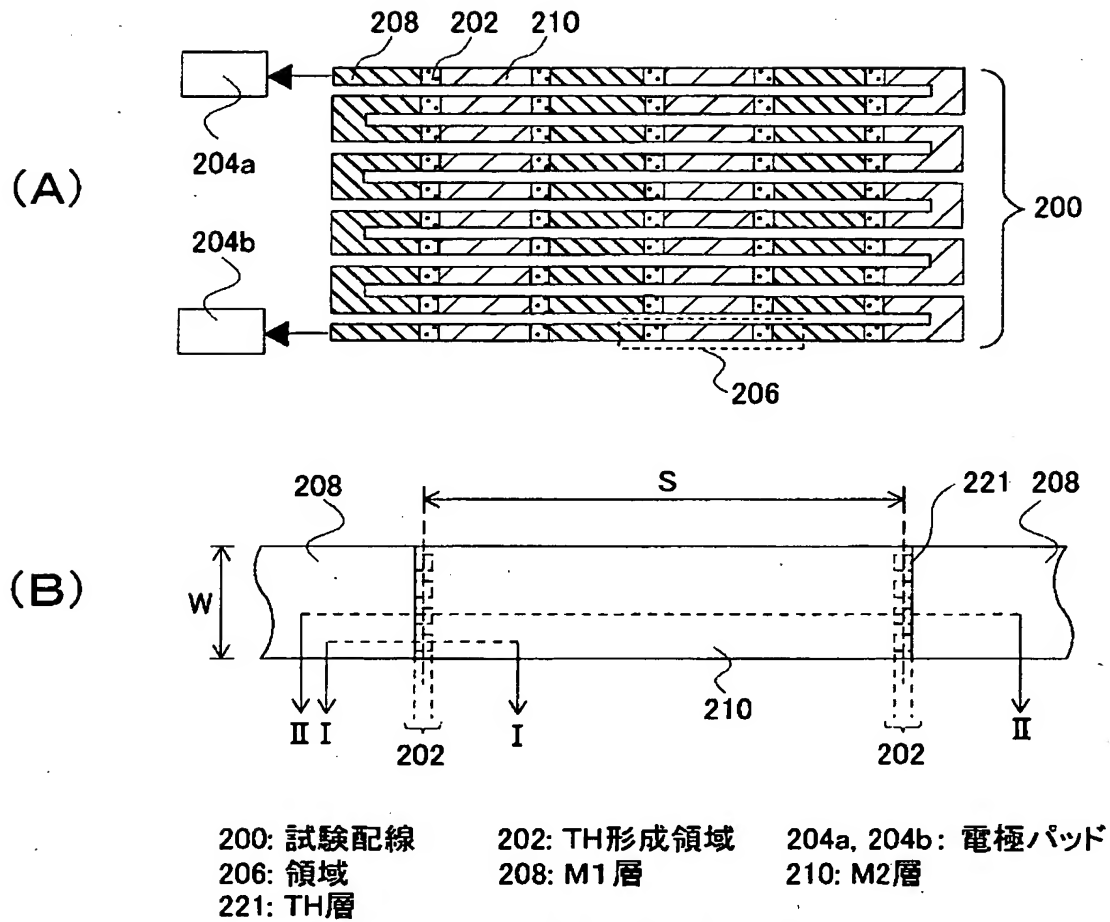
【図 1】



|                       |                  |           |
|-----------------------|------------------|-----------|
| 100: 半導体下地            | 102: 下地絶縁膜       | 104: バリア層 |
| 106: Al-Cu膜           | 108: 反射防止膜 (ARM) | 110: 配線層  |
| 104a, 104c, 108a: Ti膜 | 104b, 108b: TiN膜 |           |

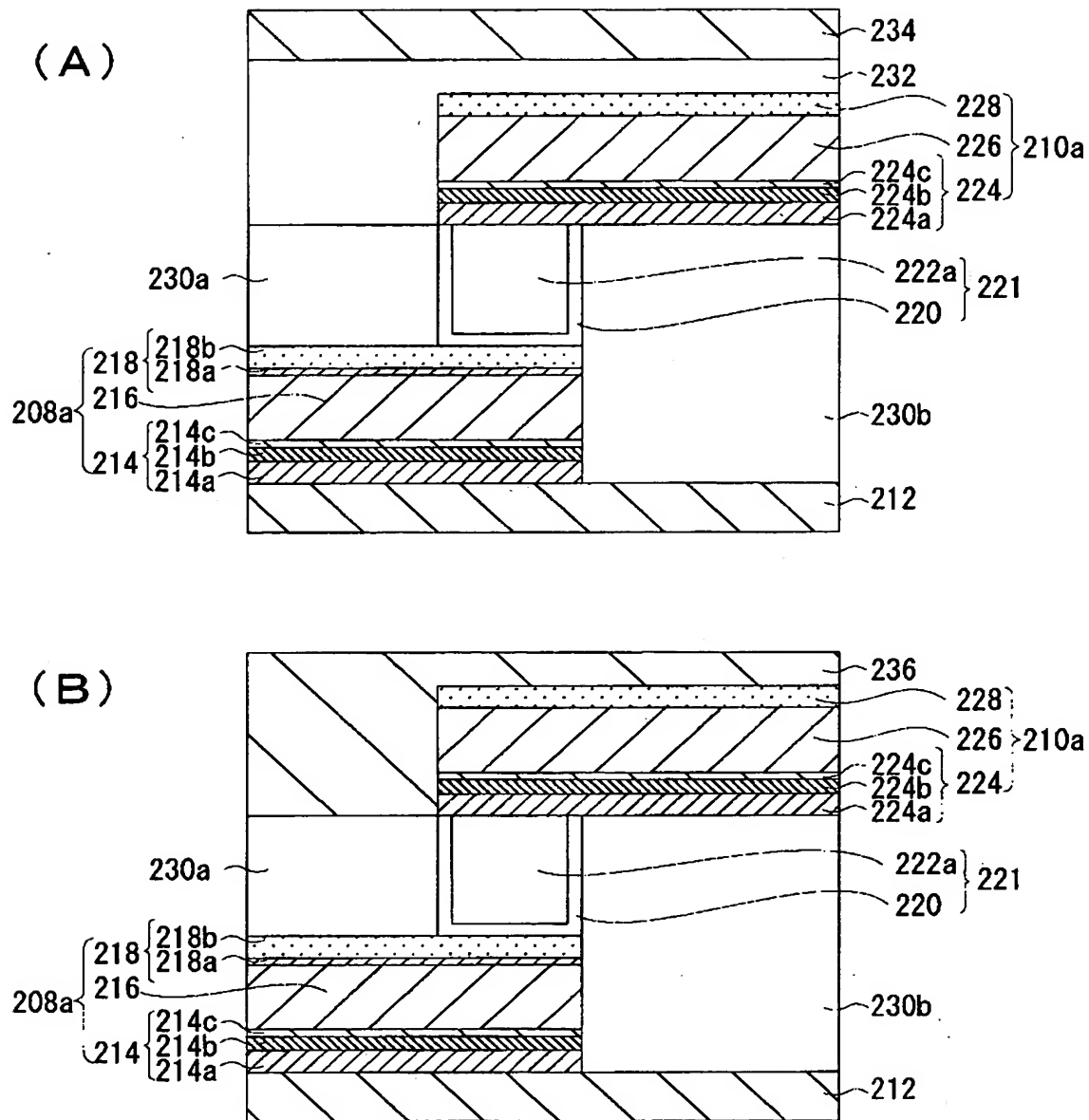
この発明による配線層形成の工程図

【図 2】



試験配線の構造概略図

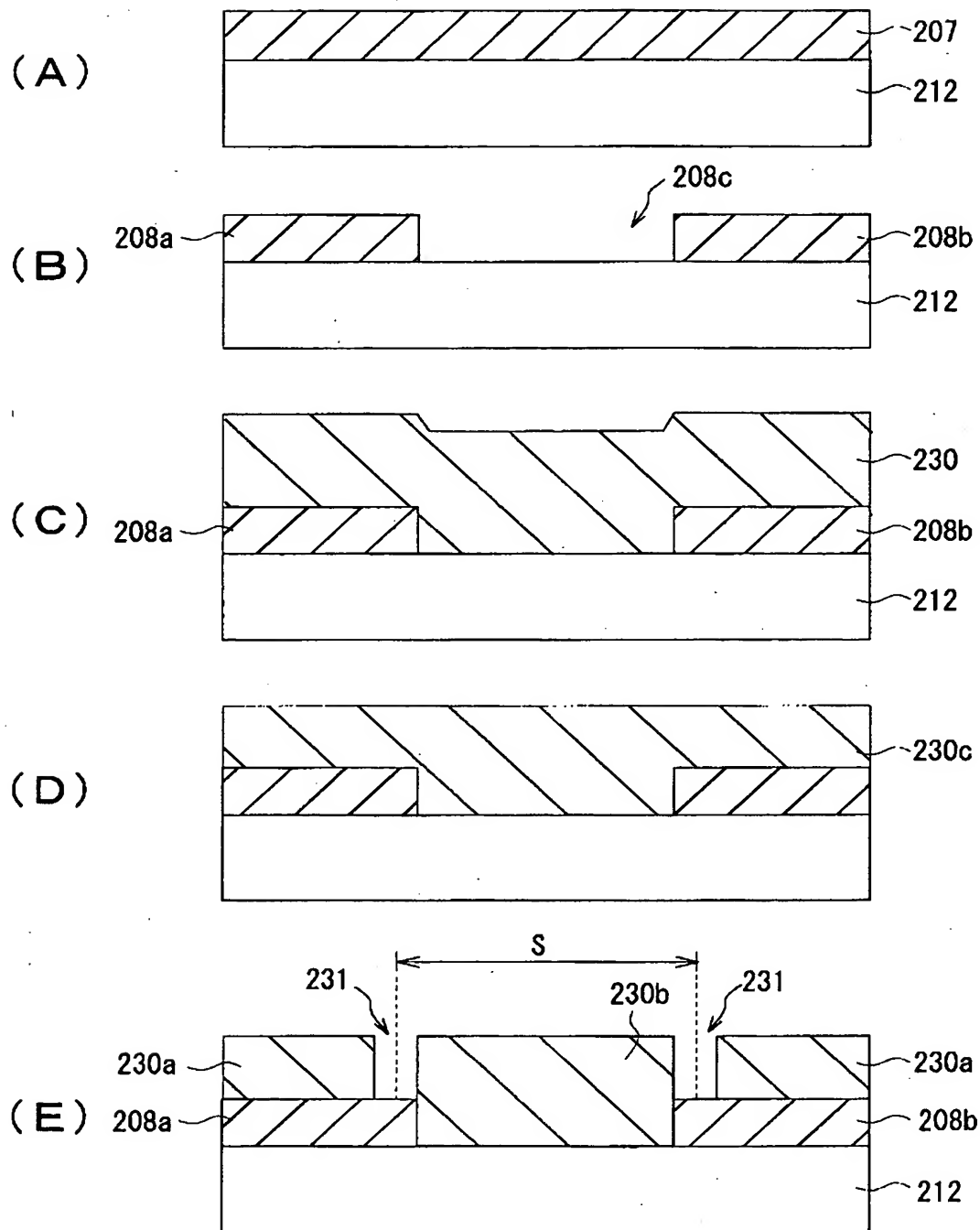
【図 3】



212 : 下地酸化膜      214, 224 : バリア層      216, 226: Al-Cu膜  
 218, 228: 反射防止膜      214a, 214c, 218a, 224a, 224c: Ti膜  
 214b, 218b, 224b: TiN膜      220: バリアメタル      221: TH層  
 222a: Wプラグ      230a, 230b, 232: 酸化膜      234, 236 : 窒化膜

試験配線の一部の断面図

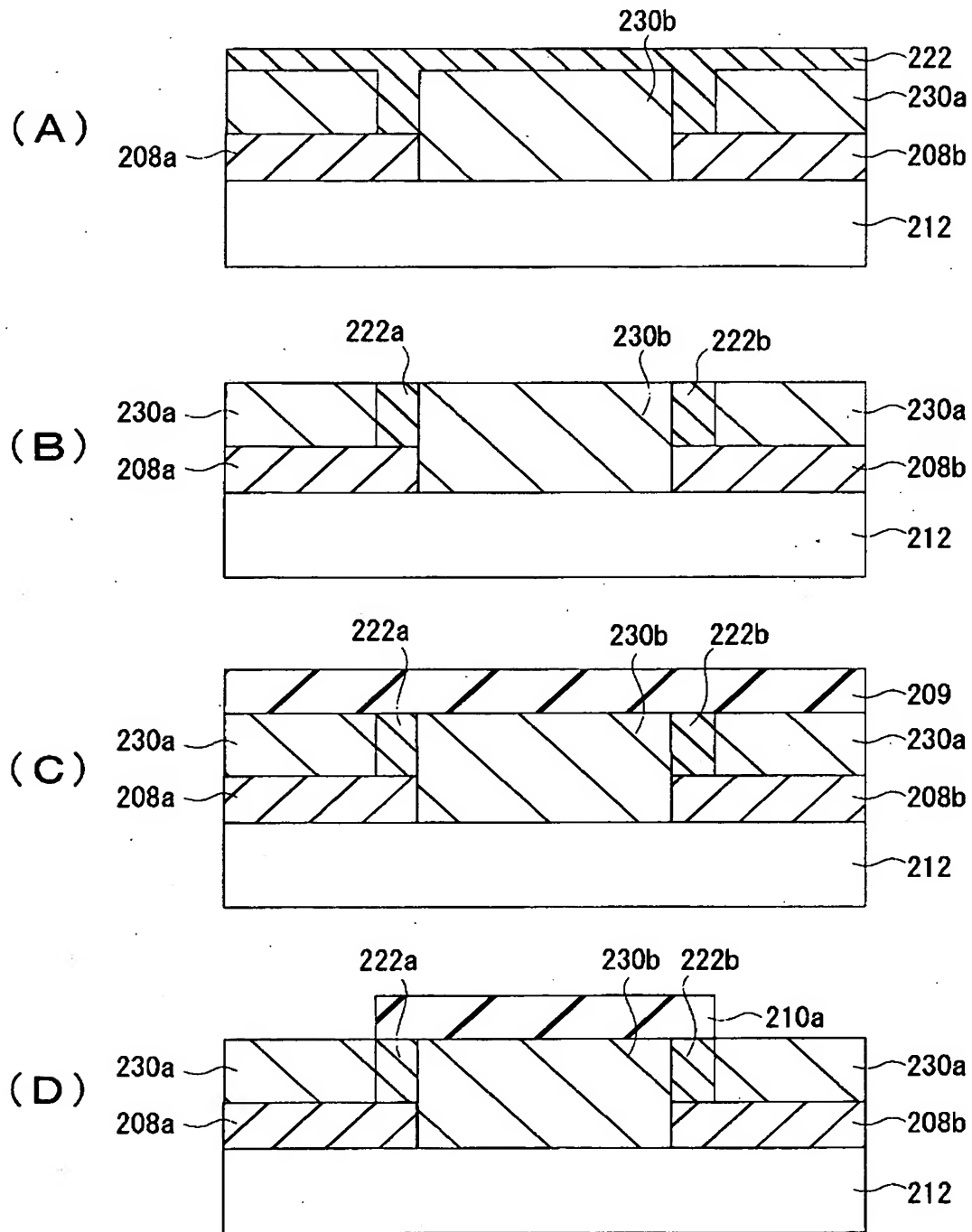
【図 4】



207, 208a, 208b: M 1 層  
230, 230a, 230b, 230c: 酸化膜  
208c: 間隙  
231: 開口

試験配線形成の工程概略図（その 1）

【図 5】



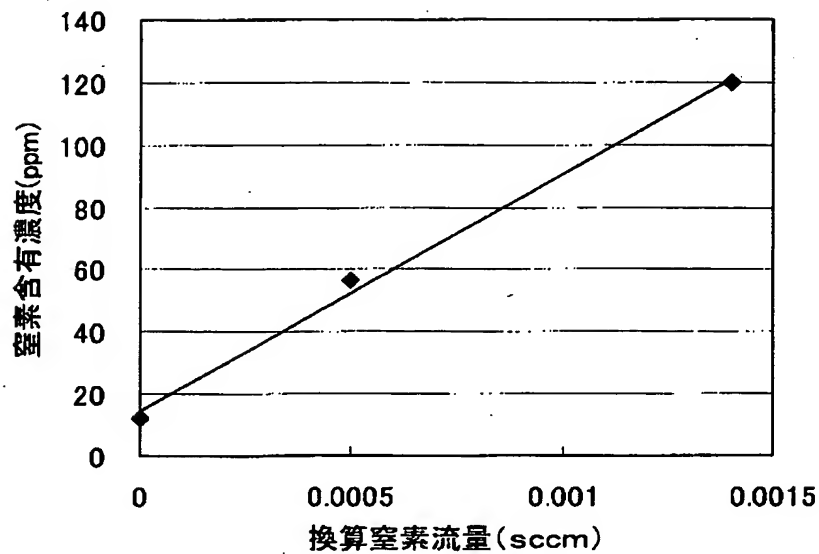
209: M 2 層

222: W 膜

222a, 222b: W プラゲ

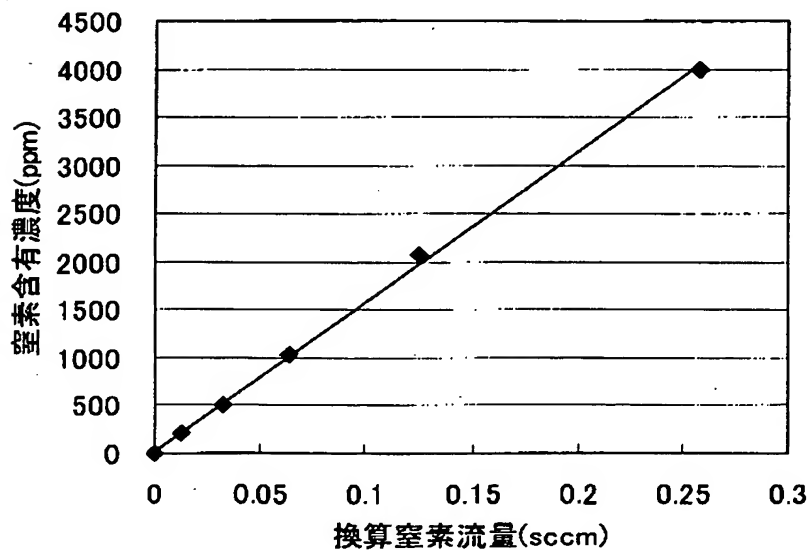
試験配線形成の工程概略図（その 2）

【図 6】



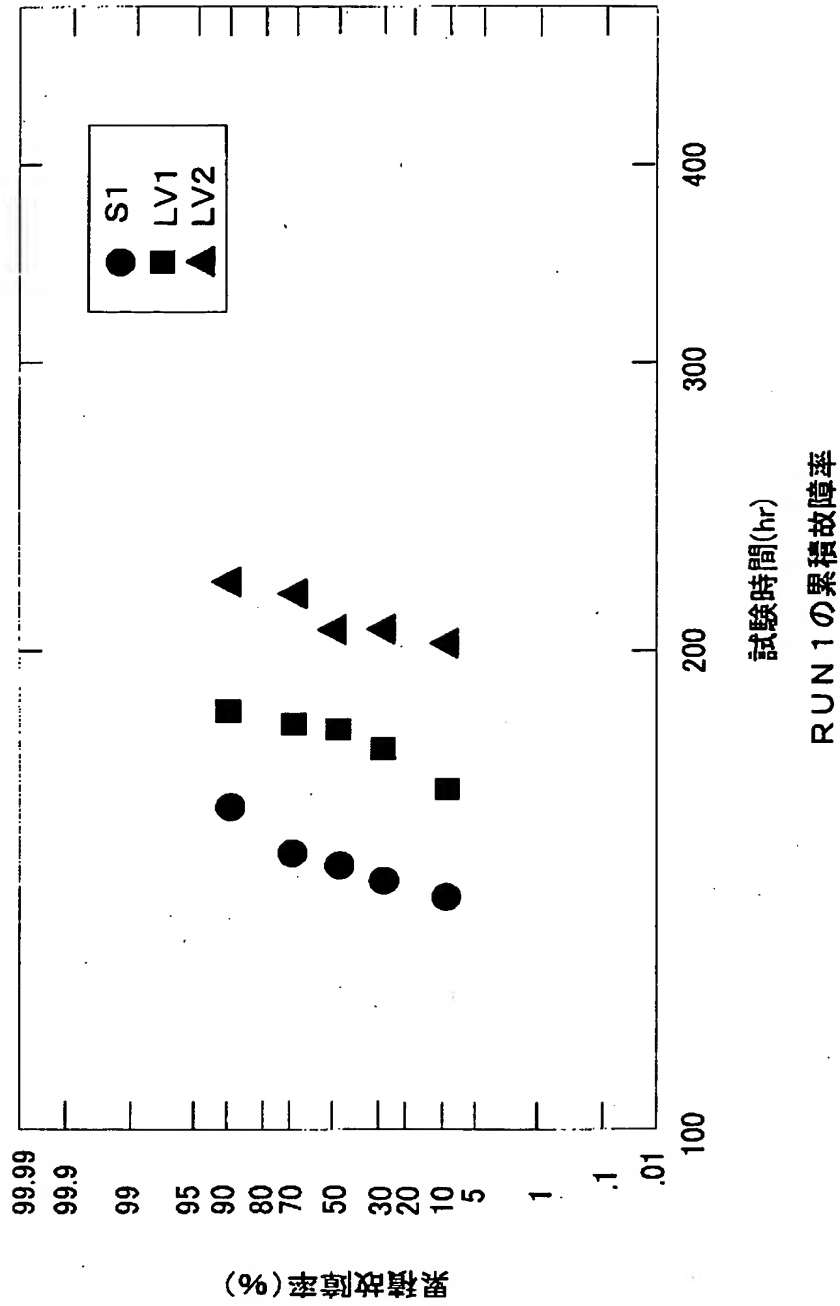
窒素含有濃度と換算窒素流量の相関図 (RUN 1)

【図 7】



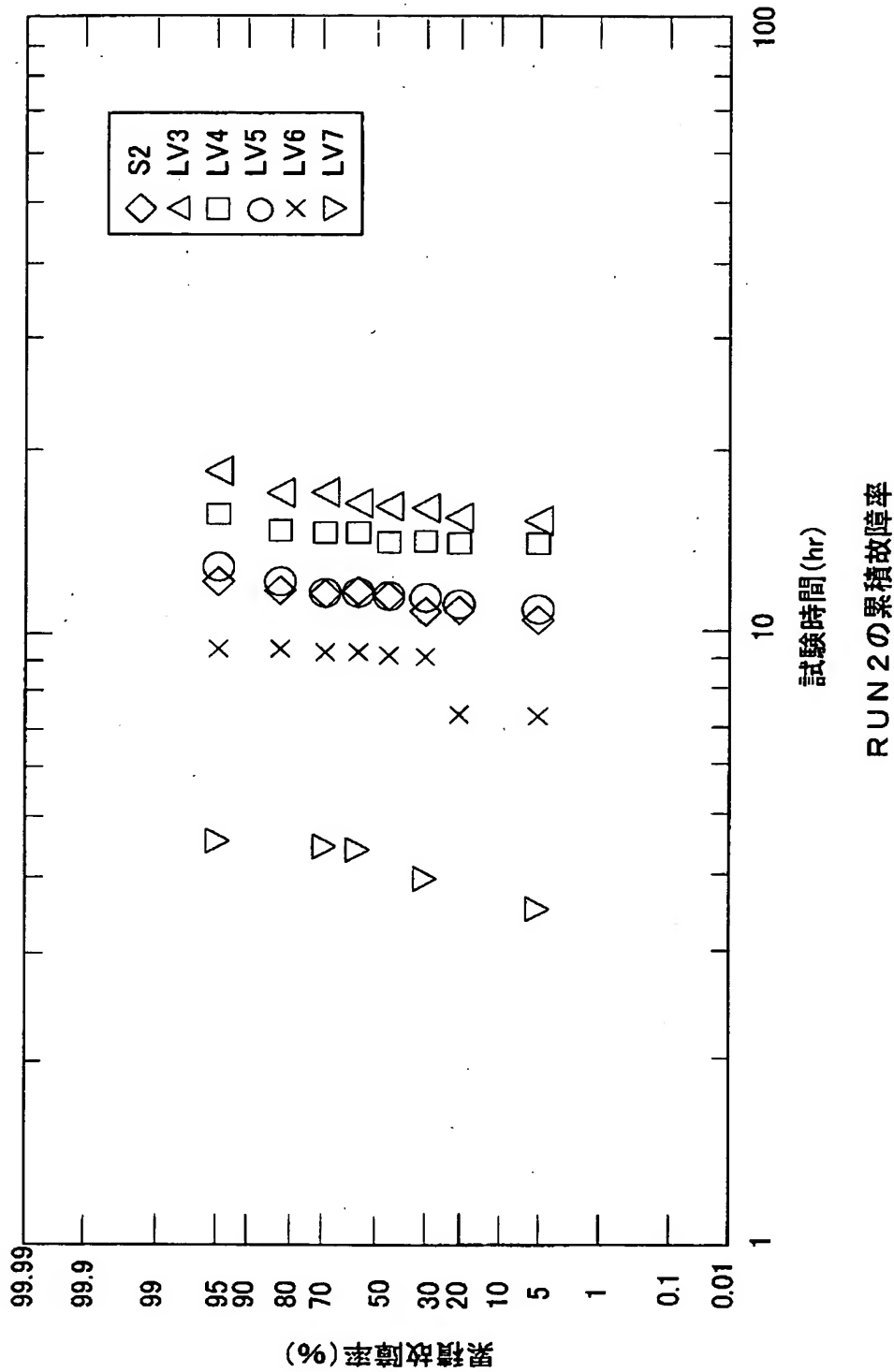
窒素含有濃度と換算窒素流量の相関図 (RUN 2)

【図 8】

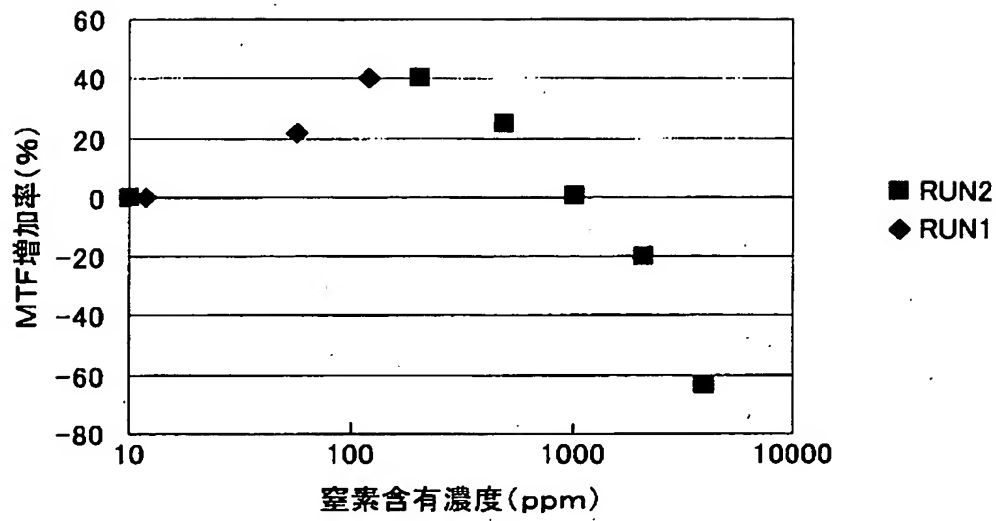




【図 9】



【図 1 0】



窒素含有濃度とM T F 増加率の相関図

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 半導体素子の高集積化に伴い、配線の微細化、薄膜化が進んでいる。その結果、配線断面積が小さくなり、電流密度が上がっている。従来の A l 合金配線形成方法では、この電流密度の上昇に対してエレクトロマイグレーション ( E M ) 寿命保証が厳しくなっており、信頼性低下の問題が生じている。 A l - C u 合金配線において、エレクトロマイグレーション ( E M ) 耐性の優れた配線を形成する方法が望まれている。

【解決手段】 下地絶縁膜 1 0 2 上に、バリア層 1 0 4、 A l - C u 膜 1 0 6 及び反射防止膜 1 0 8 を順次スパッタリングして積層していく配線層方法において、 A l - C u 膜 1 0 6 を形成する際の成膜室中のガスに、微量の窒素含有 A r ガスを用いてスパッタリングを行うことにより、 A l - C u 膜 1 0 6 を形成する。

【選択図】 図 1

認定・付加情報

|         |                          |
|---------|--------------------------|
| 特許出願の番号 | 特願 2 0 0 2 - 3 2 1 2 7 9 |
| 受付番号    | 5 0 2 0 1 6 6 8 0 1 2    |
| 書類名     | 特許願                      |
| 担当官     | 第五担当上席 0 0 9 4           |
| 作成日     | 平成 1 4 年 1 1 月 6 日       |

< 認定情報・付加情報 >

【提出日】 平成14年11月 5日

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000000295]

|          |                  |
|----------|------------------|
| 1. 変更年月日 | 1990年 8月22日      |
| [変更理由]   | 新規登録             |
| 住 所      | 東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 |
| 氏 名      | 沖電気工業株式会社        |